

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-186175

(43)Date of publication of application : 16.07.1996

(51)Int.Cl.

H01L 21/768  
H01L 21/285  
H01L 21/3213

(21)Application number : 06-339207

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 28.12.1994

(72)Inventor : KOYAMA KAZUhide

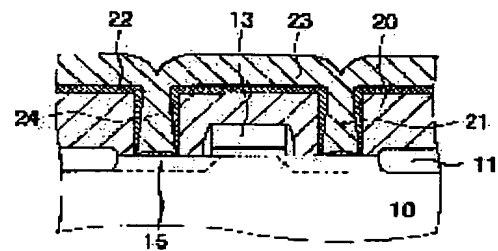
## (54) METHOD OF FORMING WIRING OF SEMICONDUCTOR AND FILM-FORMING DEVICE

(57)Abstract:

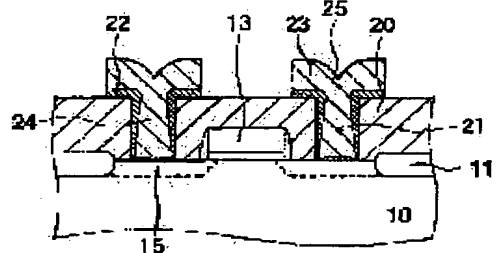
PURPOSE: To provide a wiring-formed method of a semiconductor, in which a short circuit, breaking or an increase of resistance of wiring by separation of impurity particles in a metal wiring material layer formed by a PVD method is.

CONSTITUTION: A gate oxide film of SiO<sub>2</sub> is formed on a surface of substrate after forming an element separating region 11 of LOCOS structure on a Si substrate 10. After forming a polyside gate electrode 13, an ion is injected for forming LDD structure, an SiO<sub>2</sub> film is deposited on all surface and etch backed and, a gate side wall is formed. After an impurity ion is injected, a source-drain region 15 is formed by activating heat treatment. An SiO<sub>2</sub> insulation layer 20 is formed by a CVD method on the substrate, an opening 21 is formed, a Ti layer for decreasing contact resistance, and a barrier layer TiN layer are formed by sputtering on the insulation layer as an under layer 22. After forming wiring material layer 23 of Al-0.5%Cu by the sputtering, the wiring layer is reflow-treated in an inert gas an connecting holes 24 are formed. As it is quenched after the reflow treatment coarse particles of Cu are not separated, and reliable wiring layers 25 is obtained after aging.

(A)



(B)



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.07.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 24.09.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-186175

(43) 公開日 平成8年(1996)7月16日

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>	識別記号	序内整理番号	P I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/768				
21/285	3 0 1 R			
	L			
			H 0 1 L 21/ 90	C
			21/ 88	D
審査請求 未請求 請求項の数11 F D (全 14 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号	特願平6-339207	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成6年(1994)12月28日	(72) 発明者	小山 一英 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 山本 孝久

(54) 【発明の名称】 半導体装置の配線形成方法及び成膜装置

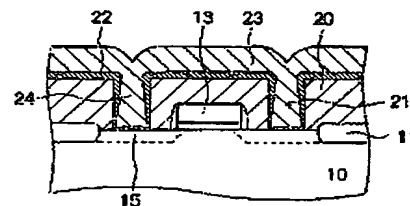
(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 PVD法により形成された金属配線材料層中の析出不純物粒子によって、配線の短絡や断線、抵抗の増大が生じ難い半導体装置の配線形成方法を提供する。

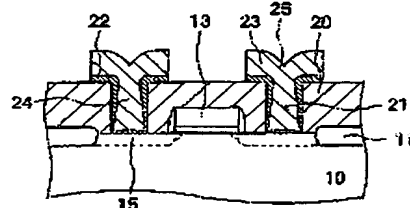
【構成】  $\text{Si}$ 、 $\text{IO}$ にLOCOS構造の素子分離領域11を形成後、基板表面に $\text{SiO}_2$ のゲート酸化膜を形成する。次にポリサイドのゲート電極13を形成後、LDD構造形成のためイオン注入し全面に $\text{SiO}_2$ 膜を堆積させ、エッチバックしてゲート側壁を形成する。不純物イオンを注入後活性化熱処理してソース・ドレイン領域15を形成する。この基板上にCVD法で $\text{SiO}_2$ 絶縁層20を形成し開口部21を設け、絶縁層上に下地層22として接触抵抗低減用のTi層とバリア層TiN層をスパッタ成膜する。次にAl-0.5%Cuの配線材料層23をスパッタ成膜後、不活性ガス中で配線層をリフロー処理し接続孔24を形成する。リフロー完了後急冷するためCuの大粒子は析出せず、エージングして信頼性高い配線層25が得られる。

(実施例1) 続き

(A) 【工程-140】



(B) 【工程-160】



(2)

特開平8-186175

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】(イ)不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を基体上に物理的气相成長法にて成膜した後、該金属配線材料層をリフロー処理する工程と、  
(ロ)リフロー処理の完了後、該金属配線材料層を急冷する工程と、

(ハ)該金属配線材料層をパターンニングして配線を形成する工程、から成ることを特徴とする半導体装置の配線形成方法。

【請求項2】(イ)不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を物理的气相成長法にて基体上に成膜しつつ、該金属配線材料層を流動状態とする工程と、

(ロ)該金属配線材料層の形成完了後、該金属配線材料層を急冷する工程と、

(ハ)該金属配線材料層をパターンニングして配線を形成する工程、から成ることを特徴とする半導体装置の配線形成方法。

【請求項3】金属配線材料層を成膜する前に、接続孔を形成すべき基体の部分に開口部を設け、前記(ロ)の工程において金属配線材料層を急冷する前に、該開口部内が不純物を含む金属配線材料で埋め込まれ、以て接続孔が形成されることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の半導体装置の配線形成方法。

【請求項4】金属配線材料層のリフロー処理する際の基体の温度、若しくは金属配線材料層を流動状態とするための基体の温度は、不純物が金属配線材料に完全に固溶する温度以上、不純物と金属配線材料との共晶温度未満であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の半導体装置の配線形成方法。

【請求項5】金属配線材料層の急冷時間は、金属配線材料層中の不純物が溶けと析出しない時間であることを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載の半導体装置の配線形成方法。

【請求項6】金属配線材料層の急冷時間は、配線最小幅の1/4倍以下の大きさの不純物粒子が析出する時間と同じかそれより短いことを特徴とする請求項5に記載の半導体装置の配線形成方法。

【請求項7】不純物は、Cu、Si、Ge、Mg及びZnから成る群から選択された少なくとも1種類の材料から成ることを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の半導体装置の配線形成方法。

【請求項8】金属配線材料はアルミニウムから成ることを特徴とする請求項1乃至請求項7のいずれか1項に記載の半導体装置の配線形成方法。

【請求項9】スパッタチャンバ、リフロー兼急冷チャンバ、並びに、該スパッタチャンバ及びリフロー兼急冷チャンバを結ぶ減圧搬送路を備えていることを特徴とする成膜装置。

【請求項10】リフロー兼急冷チャンバには、輻射熱を用いたヒータ及びガス冷却試料ステージが備えられてい

2

ることを特徴とする請求項9に記載の成膜装置。

【請求項11】リフロー兼急冷チャンバには、ガス加熱試料ステージ、ガス冷却試料ステージ、及びガス加熱試料ステージからガス冷却試料ステージへ試料を搬送する搬送装置が備えられていることを特徴とする請求項9に記載の成膜装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、物理的气相成長法(PVD法)に基づく半導体装置の配線形成方法及び、かかる半導体装置の配線形成方法の実施に適用した成膜装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの高集積化に伴い、寸法ルールが微細化している。そして、半導体デバイスの配線形成プロセスにおいては、狭くて深い(アスペクト比の高い)コンタクトホール、ビアホール、スルーホール(以下、総称して接続孔と呼ぶ)を安定に形成する技術が極めて重要となっている。接続孔は、例えばソース・ドレイン領域や下層配線層といった導体層の上に形成された絶縁層に開口部を設け、かかる開口部内に金属配線材料を埋め込むことによって形成される。例えばアルミニウムから成る金属配線材料をスパッタ法にて開口部内を含む絶縁層上に成膜する場合、アルミニウムのスパッタ粒子が開口部の側壁の影になる部分には多く入射しない。所謂シャドウイング効果が生じる。その結果、開口部内での金属配線材料のカバレッジが悪くなり、金属配線材料の堆積が少ない開口部底部の近傍において断線不良が発生し易い問題が生じている。そのため、開口部内を金属配線材料で確実に埋め込むプロセス技術が要求されている。

【0003】このようなプロセス技術の1つに、絶縁層を加熱した状態で、例えばアルミニウムから成る金属配線材料をスパッタ法にてかかる絶縁層上に成膜する高温スパッタ法がある。成膜中、絶縁層を高温の状態に保持しておくことで、絶縁層上に堆積しつつある金属配線材料は流動状態となり、開口部内に金属配線材料が流れ込み、接続孔が形成される。

【0004】あるいは又、このようなプロセス技術の1つに、スパッタ法にて例えばアルミニウムから成る金属配線材料を絶縁層上に成膜した後、絶縁層を加熱することによって開口部内に金属配線材料を流し込む、リフロー法がある。絶縁層の加熱により絶縁層上に成膜された金属配線材料は流動化状態となり、開口部内に流れ込み、開口部が金属配線材料で埋め込まれた接続孔が形成される。リフロー法において、開口部内へのアルミニウムの埋め込み性の改善及びリフロー温度の低下を目的として、リフロー処理時に不活性ガス中で高圧を加える場合がある。以下、このような方法を高圧リフロー法と呼ぶ。

(3)

特開平8-186175

3

4

【0005】これらの高温スパッタ法や高圧リフロー法を含むリフロー法による開口部の埋め込みにおいては、金属配線材料を再結晶温度以上（例えば、約350℃以上）、融点未満に加熱する。より具体的には、下地である絶縁層をこのような温度に加熱する。尚、このときの絶縁層の加熱温度を、以下、熱処理温度と呼ぶ。ここで、再結晶温度とは、金属配線材料が再組織化可能な温度（金属配線材料の結晶が成長し得るに十分な温度）を意味し、通常、融点の温度（単位：℃）の値の3/4倍程度の温度値である。また、高温スパッタ法やリフロー法による処理完了後の金属配線材料の冷却は、通常、自然冷却であり、冷却時間は10数分程度である。

【0006】高圧リフロー法を含むリフロー法においては、金属配線材料を大気に曝すことなく、同一成膜装置内で金属配線材料の成膜及びリフロー処理を行った方が、金属配線材料の表面に酸化膜が形成されないの、開口部内への金属配線材料の流れ込みが良好となる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】金属配線材料を構成するアルミニウムには、形成された配線の信頼性向上や、熱処理温度の低下を目的として、種々の不純物（Cu、Si、Ge等）が最高数パーセント程度含まれている。尚、このような不純物を含むアルミニウムを、以下、アルミニウム系合金と呼ぶ。そして、殆どの場合、熱処理温度を、これらの不純物がアルミニウム中に完全に固溶するような温度若しくはそれ以上の温度とする。即ち、熱処理温度以上において、アルミニウムを溶媒原子、不純物を構成する成分を媒質原子とする一次固溶体が形成される。

【0008】例えば、アルミニウム系合金がAl-0.5%Cuから成る場合、図11にAl-Cuの二元系系平衡状態図を示すように、熱処理温度が約300℃以上では、全てのCuはAl中に完全に固溶する。然るに、室温でのAlに対するCuの固溶度は0.1%程度しかないの、アルミニウム系合金を冷却したとき、析出（偏析）したCuがCu<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>を形成する。そして、アルミニウム中に固溶していた不純物は、アルミニウム系合金を自然冷却したとき、図12の（A）に模式的な一部断面図に示すように、0.1μmの数倍といった比較的大きな析出物としてアルミニウムの粒界に析出（偏析）する。それ故、絶縁層上に形成されたアルミニウム系合金から成る金属配線材料層をエッチング法にてパターンニングして配線を形成する場合に、問題が発生する。即ち、不純物が導電性を有する場合（例えばCu等の場合）、析出物によって配線の短絡が生じる虞がある（図12の（B）参照）。また、不純物が導電性を有していない場合（例えばSi等の場合）、析出物によって配線の抵抗値が増加したり断線するという問題がある。尚、図12中、参照番号120は絶縁層、121は絶縁層120に設けられた開口部、122はTiN/Tiから成

る下地層、123はアルミニウム系合金から成る金属配線材料層、180は下層絶縁層、181は下層絶縁層180上に形成された下層配線層である。

【0009】開口部内を金属配線材料で確實に埋め込む別のプロセス技術として、例えばブランケットCVD法がある。この方法は、図13の（A）に示すように、絶縁層130に開口部131を設けた後、開口部131内を含む絶縁層の上にタングステン等から成る高融点金属材料若しくは高融点金属化合物材料（以下、高融点金属材料等と呼ぶ場合がある）132BをCVD法にて堆積させた後、絶縁層130上の高融点金属材料等132Bをエッチバック法で除去し、開口部131内に高融点金属材料等から成るメタルプラグ134を形成する。その後、図13の（B）に示すように、メタルプラグの頂面134A上を含む絶縁層130上に金属配線材料層133から成る配線を形成する。尚、参照番号132AはTiN/Tiから成るバリアメタル層である。

【0010】ブランケットCVD法によるメタルプラグの形成においては、高融点金属材料等をエッチバックした際、通常、メタルプラグの頂面に凹部134Aが生じる（図13の（A）参照）。従って、高温スパッタ法や高圧リフロー法を含むリフロー法を採用しない場合、かかるメタルプラグ134の上方の金属配線材料層133に凹部が形成され、配線の信頼性が低下する虞がある（図13の（B）参照）。然るに、高温スパッタ法や高圧リフロー法を含むリフロー法を採用して、アルミニウム系合金から成る金属配線材料の凹部を平坦化した場合、金属配線材料を自然冷却したとき、アルミニウム中に固溶している不純物が比較的大きな析出物としてアルミニウムの粒界に析出（偏析）する。その結果、絶縁層上に形成されたアルミニウム系合金から成る金属配線材料層をエッチング法にてパターンニングして配線を形成する場合に、先に述べたと同様の問題が発生する。

【0011】従って、本発明の第1の目的は、形成された金属配線材料層中に析出した不純物の粒子によって配線の短絡、断線あるいは抵抗の増大が生じ難い、不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を物理的气相成長法（PVD法）に基づいて形成するための半導体装置の配線形成方法を提供することにある。また、本発明の第2の目的は、かかる本発明の半導体装置の配線形成方法の実施に適した成膜装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記の第1の目的を達成するための本発明の第1の態様に係る半導体装置の配線形成方法は、（イ）不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を基体上に物理的气相成長法にて成膜した後、該金属配線材料層をリフロー処理する工程と、（ロ）リフロー処理の完了後、該金属配線材料層を急冷する工程と、（ハ）該金属配線材料層をパターンニングして配線を形成する工程、から成ることを特徴とする。即

5

ち、本発明の第1の態様に係る半導体装置の配線形成方法は、基本的には高圧リフロー法を含むリフロー法から構成されている。

【0013】上記の第1の目的を達成するための本発明の第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法は、

(イ) 不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を物理的気相成長法にて基体上に成膜しつつ、該金属配線材料層を流動状態とする工程と、(ロ) 該金属配線材料層の形成完了後、該金属配線材料層を急冷する工程と、(ハ) 該金属配線材料層をパターンニングして配線を形成する工程、から成ることを特徴とする。即ち、本発明の第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法は、基本的には例えば高温スパッタ法から構成されている。

【0014】本発明の第1及び第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法においては、金属配線材料層を成膜する前に、接続孔を形成すべき基体の部分に開口部を設け、前記(ロ)の工程において金属配線材料層を急冷する前に、該開口部内が不純物を含む金属配線材料で埋め込まれ、以て接続孔が形成される態様を含めることができる。

【0015】本発明の第1及び第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法においては、金属配線材料層のリフロー処理する際の基体の温度、若しくは金属配線材料層を流動状態とするための基体の温度は、不純物が金属配線材料に完全に固溶する温度以上、不純物と金属配線材料との共晶温度未満とすることが望ましい。

【0016】また、金属配線材料層の急冷時間は、金属配線材料層中の不純物が殆ど析出しない時間であることが好ましい。具体的には、不純物の粒子が金属配線材料の粒界に大きな析出物として析出(偏析)しないように、不純物を構成する材料の拡散距離( $L_0$ )が金属配線材料の粒径に比べ十分短くなるように、例えば $L_0 = 0.1 \mu\text{m}$ 程度となるように冷却時間を設定することが望ましい。熱処理温度及び不純物の粒子が金属配線材料の粒界に析出し始める温度を決定すれば不純物の拡散係数 $D$ (単位:  $\mu\text{m}^2/\text{秒}$ )が求まるので、冷却時間 $t$ を、

$t \leq L_0^2/D$   
に設定すればよい。

【0017】更には、金属配線材料層の急冷時間は、配線最小幅の $1/4$ 倍以下の大きさの不純物粒子が析出する時間と同じかそれより短いことが好ましい。析出した不純物粒子の大きさが配線最小幅の $1/4$ 倍を超えると、金属配線材料層中に析出した不純物粒子によって、配線の短絡や断線あるいは配線の抵抗増加といった問題が生じる虞がある。

【0018】不純物は、Cu、Si、Ge、Mg及びZnから成る群から選択された少なくとも1種類の材料から成ることが望ましい。金属配線材料は、高温スパッタ法やリフロー法等に適した材料から選択すればよく、例

(4)

特開平8-186175

6

えばアルミニウムや銅を挙げることができる。即ち、不純物を含む金属配線材料として、Al-Cu、Al-Si、Al-Si-Cu、Al-Ge、Al-Si-Ge等の種々のアルミニウム系合金を例示することができる。

【0019】基体としては、例えば半導体基板の上に形成された絶縁層、あるいは又、絶縁層及びこの絶縁層に形成された接続孔を挙げることができる。絶縁層の下には如何なる構造が設けられていてもよいし、単に例えば半導体基板上に形成された絶縁層であってもよい。かかる構造として、例えば半導体基板に形成されたソース・ドレイン領域、下層絶縁層上に形成された下層配線層を挙げることができる。尚、この場合には、ソース・ドレイン領域や下層配線層は、基体である絶縁層に設けられた接続孔を介して配線と電気的に接続される。

【0020】物理的気相成長法として、真空蒸着法、あるいは、マグネトロンスパッタ法、DCスパッタ法、RFスパッタ法、ECRスパッタ法、基体にバイアスを印加するバイアスパッタ法等の各種スパッタ法、あるいはこれら各種スパッタ法に基づいたコスパッタ法を挙げることができる。

【0021】上記の第2の目的を達成するための本発明の成膜装置は、スパッタチャンバ、リフロー兼急冷チャンバ、並びに、該スパッタチャンバ及びリフロー兼急冷チャンバを結ぶ減圧搬送路を備えていることを特徴とする。

【0022】本発明の成膜装置においては、リフロー兼急冷チャンバには、輻射熱を用いたヒータ及びガス冷却試料ステージが備えられていることが望ましい。あるいは又、リフロー兼急冷チャンバには、ガス加熱試料ステージ、ガス冷却試料ステージ、及びガス加熱試料ステージからガス冷却試料ステージへ試料を搬送する搬送装置が備えられていることが望ましい。

【0023】

【作用】本発明においては、基体上に成膜された若しくは成膜されつつある金属配線材料層をリフロー処理した後、若しくは流動状態とした後、金属配線材料層を急冷する。金属配線材料層中に不純物が析出するが、急冷することによって、不純物の析出物の粒径は小さくなる。従って、金属配線材料層をパターンニングして配線を形成する際、不純物の析出物によって、配線の短絡、断線あるいは抵抗の増大といった問題が生じ難い。

【0024】本発明の成膜装置においては、スパッタチャンバ及びリフロー兼急冷チャンバを結ぶ減圧搬送路を備えているので、金属配線材料を大気に曝すことなく、同一成膜装置内で金属配線材料の成膜及びリフロー処理を行うことができ、金属配線材料の表面に酸化膜が形成されないで、開口部内への金属配線材料の流れ込みが良好となる。

【0025】

(5)

特開平8-186175

7

8

【実施例】以下、図面を参照して、実施例に基づき本発明を説明する。尚、実施例1～実施例3は、本発明の第1の態様に係る半導体装置の配線形成方法に関し、実施例4は、本発明の第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法に関する。また、実施例5は本発明の成膜装置に関する。

【0026】（実施例1）実施例1は、本発明の第1の態様に係る半導体装置の配線形成方法に関する。即ち、実施例1の配線形成方法は、基本的にはリフロー法から構成されている。金属配線材料はアルミニウム（Al）から成り、不純物は銅（Cu）から成る。具体的には、不純物を含む金属配線材料として、Al-0.5%Cuを用いた。また、基体は絶縁層から成る。絶縁層には接続孔が設けられ、金属配線材料層は半導体基板に形成されたソース・ドレイン領域と電気的に接続されている。尚、基体が絶縁層のみから構成される場合であってもよいことは勿論であるし、接続孔がその底部において下層配線層と電気的に接続される態様も含み得る。以下、実施例1の半導体装置の配線構造の形成方法を、図1及び図2を参照して説明する。

【0027】【工程-100】先ず、公知の方法に基づき、シリコン半導体基板10にLOCOS構造を有する素子分離領域11を形成した後、シリコン半導体基板10の表面にSiO<sub>2</sub>から成るゲート酸化膜12を形成する。次いで、ポリシリコン、ポリサイドあるいはシリサイドから成るゲート電極13を、例えばCVD法、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて形成する。その後、LDD構造を形成するためのイオン注入を行い、次いで、全面にSiO<sub>2</sub>膜を堆積させた後、SiO<sub>2</sub>膜をエッチバックし、SiO<sub>2</sub>から成るゲートサイドウォール14をゲート電極13の側壁に形成する。次に、不純物のイオン注入を行った後、シリコン半導体基板10にイオン注入された不純物を活性化するために活性化アニール処理を行い、ソース・ドレイン領域15を形成する。尚、素子分離領域11を、所謂トレンチ構造を有する素子分離領域とすることもできる。

【0028】【工程-110】次いで、ソース・ドレイン領域15が形成された半導体基板10上に絶縁層20を形成する。基体に相当する絶縁層20は、例えばSiO<sub>2</sub>から成り、CVD法にて形成することができる。その後、ソース・ドレイン領域15の上方の絶縁層20に、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて開口部21を設ける（図1の（A）参照）。

【0029】【工程-120】次に、開口部21の底部をエッチクリーニングした後、下地層22としてTi層（厚さ30nm）及びTiN層（厚さ100nm）を、開口部21内を含む絶縁層20の上に順次スパッタ法で成膜する（図1の（B）参照）。尚、Ti層は、ソース・ドレイン領域15と後に形成される接続孔との間のコンタクト抵抗の低減を目的として形成される。一方、T

iN層は、不純物を含む金属配線材料で開口部21内を埋め込む際、金属配線材料によってソース・ドレイン領域15が損傷を受けることを防止するバリア層としての機能を有する。更には、下地層22は、絶縁層20上の金属配線材料層がエレクトロマイグレーションやストレスマイグレーション等によって断線した場合でも配線全体が断線しないように、配線に冗長効果を持たせる機能も有する。尚、TiN層の成膜後、TiN層のバリア性を向上させるために、窒素ガス雰囲気中若しくは窒素ガスと酸素ガスの混合ガス雰囲気中で650℃×60秒程度のRTA（Rapid Thermal Annealing）処理を行うことが好ましい。Ti層及びTiN層のスパッタ条件を以下に例示する。

Ti層の成膜条件

プロセスガス：Ar=100sccm

圧力：0.4Pa

DCパワー：5kW

成膜温度：150℃

TiN層の成膜条件

ガス：Ar/N<sub>2</sub>=30/80sccm

圧力：0.4Pa

DCパワー：5kW

成膜温度：150℃

【0030】【工程-130】続いて、TiN層の上に厚さ20nmのTiから成る濡れ性改善層を成膜することが望ましい。この濡れ性改善層は、次に成膜する金属配線材料層の下地層22に対する濡れ性向上を目的として形成される。尚、この濡れ性改善層の図示は省略した。その後、引き続き、不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を基体上に物理的气相成長法にて成膜する（図1の（C）参照）。具体的には、不純物（Cu）を含む金属配線材料（Al）から成る金属配線材料層（Al-0.5%Cu）23を、基体に相当する絶縁層20上（実際には、濡れ性改善層の上）にスパッタ法にて成膜する。金属配線材料層23のスパッタ条件を以下に例示する。

金属配線材料層23の成膜条件

ターゲット：Al-0.5%Cu

プロセスガス：Ar=100sccm

圧力：0.4Pa

DCパワー：20kW

成膜温度：150℃

膜厚：0.5μm

【0031】【工程-140】アルミニウム系合金であるAl-0.5%Cuから成る金属配線材料層23を成膜した後、金属配線材料層23の表面の酸化を避けながら、若しくは表面に生成した酸化膜をスパッタエッチング等によって除去した後、金属配線材料層23をリフロー処理する。これによって、不純物を含む金属配線材料で開口部21内が埋め込まれ、接続孔24が形成される

9

(図2の(A)参照)。リフロー処理は、例えば、不活性ガス雰囲気とし得るリフロー炉急冷チャンバ(このようなチャンバについては後述する)内で行えばよい。リフロー処理の条件を以下に例示する。尚、熱処理温度(リフロー温度)は、不純物が金属配線材料に完全に固溶する温度(例えばアルミニウム系合金の組成によって異なるが、Al-0.5%Cuの場合約300°C以上)、不純物と金属配線材料との共晶温度未満(A1-0.5%Cuの場合約548°C未満)とすればよい。リフロー処理中に金属配線材料層が酸化や窒化されることを避けるために、高純度の不活性ガス雰囲気にすることが好ましい。

熱処理温度: 450°C

加熱時間: 2分

加熱雰囲気: アルゴンガス

【0032】[工程-150] リフロー処理の完了後、後述するリフロー炉急冷チャンバ内で、金属配線材料層23を急冷する。金属配線材料層23の急冷時間は、金属配線材料層23中の不純物が殆ど析出しない時間とすることが望ましい。即ち、金属配線材料層23の急冷時間は、例えばCu粒子がAlの粒界に大きな析出物として析出(偏析)しないように、Cuの拡散距離( $L_c$ )がAlの粒径に比べて十分短くなるように、例えば $L_c = 0.1 \mu m$ 程度となるように設定することが望ましい。例えば熱処理温度(リフロー温度)が300°C以上の場合、CuAl<sub>2</sub>の析出が始まる300°CでのAl中のCuの拡散係数Dは約 $5 \times 10^{-11} \mu m^2 / \text{秒}$ であるので、冷却時間tは、

$$t \leq L_c^2 / D = (0.1 \mu m)^2 / D \leq 200 \text{ 秒}$$

に設定することが望ましい。熱処理温度(リフロー温度)が、0.5%のCuがAl中に固溶する300°C以上であれば、必要とされる300°C以下での冷却速度は、熱処理温度(リフロー温度)には依存しない。即ち、熱処理温度(リフロー温度)が300°Cを超える場合、冷却時間tを200秒以内とすれば、300°C以下での冷却速度は、熱処理温度(リフロー温度)が300°Cの場合よりも早くなる。尚、Al中の各種材料の拡散係数Dの値は、例えば、「改訂2版 金属データブック」、第24頁、社団法人日本金属学会編集、昭和59年1月30日発行、丸善株式会社発行、から得ることができる。

【0033】あるいは又、別の表現をすれば、金属配線材料層の急冷時間は、配線最小幅の1/4倍以下の大きさの不純物粒子が析出する時間と同じかそれより短くする。

【0034】[工程-160] その後、必要に応じて、金属配線材料層23の表面に反射防止膜(図示せず)を成膜する。反射防止膜を形成する目的は以下のとおりである。即ち、次のフォトリソグラフィ工程において、金

(6)

特開平8-186175

10

属配線材料層の上にレジストを形成し、レジストを露光・現像することによってレジストをパターンニングする。このレジスト露光の際、予め反射防止膜を形成しておくことによって、露光光の金属配線材料層での反射を防止することができ、所望のパターン形状を有するレジストを形成することができる。反射防止膜は、例えば、Ti、N、TiON、SiO<sub>2</sub>N<sub>2</sub>から成る。次いで、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて、絶縁層20上の金属配線材料層23、濡れ性改層及び下地層22をパターンニングして配線25を形成する。こうして、図2の(B)に示す配線構造を完成させる。パターンニングの条件を以下に例示する。尚、金属配線材料層等のエッチング時、プラズマ照射によって金属配線材料層の温度が上昇するが、不純物が金属配線材料層中に出来る限り再び固溶し次いで再び析出しないように、金属配線材料層の温度を200°C以下に抑制することが望ましい。

使用ガス: BC1<sub>3</sub>/C1<sub>2</sub> = 60/90 sccm

圧力: 2 Pa

RFパワー: 50 W

マイクロ波パワー: 300 mW

【0035】配線25の形成後、エージング処理を行い、Cuから成る不純物を金属配線材料層中に再び析出させ、その後、金属配線材料層を冷却することによって、金属配線材料層中におけるCuから成る不純物の最適析出状態を得ることができ、高い信頼性を有する配線を得ることができる。

【0036】尚、配線25の形成後、層間絶縁層の形成のためのCVD工程やシンター処理時に400°C程度の熱処理が配線に加わることがある。この場合、不純物が配線を構成する金属配線材料層に再び固溶し、金属配線材料層が冷却されると金属配線材料層中に再び析出するが、金属配線材料層は既にパターンニングされているので、析出した不純物粒子が配線から突出することはない。また、配線の短絡といった問題が生じることがない。また、この場合、析出した不純物粒子の粒径が小さいので、配線の抵抗増加や断線が生じることも無く、特に大きな問題にもならない。

【0037】(実施例2) 実施例2は実施例1の変形である。実施例2においては、不純物としてSi、金属配線材料としてAl、即ちAl-1%Siを用いた。実施例2の半導体装置の配線形成方法は、実施例1の[工程-140]及び[工程-150]が相違することを除き、他の工程は実施例1と同様とすることができるので、実施例1の[工程-140]及び[工程-150]に相当するリフロー工程及び冷却工程のみを、以下説明する。

【0038】[リフロー工程] アルミニウム系合金から成る金属配線材料層23を成膜した後、金属配線材料層23の表面の酸化を避けながら、若しくは表面に生成し



11

た酸化膜をスパッタエッチング等によって除去した後、金属配線材料層23をリフロー処理して、開口部21内を不純物を含む金属配線材料で埋め込み、接続孔24を形成する(図2の(A)参照)。リフロー処理は、例えば、不活性ガス雰囲気とし得るリフロー兼急冷チャンバ内で行えばよい。

【0039】1%のSiがAlに完全に固溶するために、熱処理温度を520°C以上、部分的に溶融する可能性がある共晶温度577°C未満にする必要がある。しかしながら、リフロー処理自体は450°C程度で十分実現できるので、例えばAlとTiとの反応等の影響を考慮して、実施例2においては、リフロー処理を2段階に分けた。リフロー処理の条件を以下に例示する。

第1段階のリフロー処理

熱処理温度：450°C

加熱時間：2分

加熱雰囲気：アルゴンガス

第2段階のリフロー処理

熱処理温度：525°C

加熱時間：5秒

加熱雰囲気：アルゴンガス

【0040】このように、第1段階のリフロー処理においては、熱処理温度を450°C×2分と低めに抑え、第2段階のリフロー処理においては、SiをAl中に完全に固溶させるために、熱処理温度を525°C×5秒の高温、短時間処理とした。Cuと比較して、SiはAl中を拡散する速度が早いので、第2段階のリフロー処理における加熱時間は数秒で十分であると考えられる。

【0041】[冷却工程]次に、金属配線材料層23を急冷する。金属配線材料層23の急冷時間は、金属配線材料層23中の不純物が殆ど析出しない時間とする。即ち、金属配線材料層23の急冷時間は、Si粒子がAlの粒界に大きな析出物として析出(偏析)しないように、Siの拡散距離(L<sub>s</sub>)がAlの粒径に比へ十分短くなるように、例えば0.1μm程度となるように設定することが望ましい。例えば熱処理温度(リフロー温度)が520°C以上の場合、Al中でのSiの拡散係数Dは、1%のSiがAl中に析出し始める520°Cで約2×10<sup>-14</sup>μm<sup>2</sup>/秒であるので、冷却時間tは、 $t \leq L_s^2 / D = (0.1 \mu m)^2 / D$   
 $\leq 0.5$ 秒

と、極めて短い時間に設定する必要がある。あるいは又、別の表現をすれば、金属配線材料層の急冷時間は、配線最小幅の1/4倍以下の大きさの不純物粒子が析出する時間と同じかそれより短くする。尚、急冷工程より後に配線が加熱される場合、SiはCuよりも金属配線材料層中を拡散し易いので、実施例1の場合より一層低い温度にする必要がある。

【0042】(実施例3)実施例3も実施例1の変形である。実施例1においては、ソース・ドレイン領域15

(7)

特開平8-186175

12

と配線25とを電気的に接続するための接続孔24を、不純物を含む金属配線材料から形成した。一方、実施例3においては、絶縁層30に開口部31を形成し、かかる開口部31にタングステンから成るメタルプラグ34を形成することによって、ソース・ドレイン領域15と配線35とを電気的に接続する。実施例3においては、絶縁層30及びメタルプラグ34の頂面が基体に相当する。尚、基体が絶縁層30のみから構成される場合であってもよいことは勿論であるし、メタルプラグがその底部において下層配線層と電気的に接続される態様も含み得る。実施例3においては、不純物を含む金属配線材料を、実施例1と同様に、Al-0.5%Cuとした。以下、図3～図5を参照して、実施例3の半導体装置の配線形成方法を以下説明する。

【0043】[工程-300] 先ず、実施例1の[工程-100]と同様にして、シリコン半導体基板10に形成されたソース・ドレイン領域15の上に、例えばSiO<sub>2</sub>から成る絶縁層30をCVD法にて形成した後、ソース・ドレイン領域15の上方の絶縁層30に、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて開口部31を設ける。

【0044】[工程-310] 次いで、開口部31の底部をエッチクリーニングした後、バリアメタル層32AとしてTi層及びTiN層を、開口部31内を含む絶縁層30の上に順次パッタ法で成膜する。尚、Ti層は、ソース・ドレイン領域15と後に形成されるメタルプラグ34との間のコンタクト抵抗の低減を目的として形成される。一方、TiN層は、メタルプラグ34を開口部31内に形成する際にソース・ドレイン領域15が損傷を受けることを防止するバリア層としての機能を有する。尚、TiN層の成膜後、TiN層のバリア性を向上させるために、窒素ガス雰囲気中若しくは窒素ガスと酸素ガスの混合ガス雰囲気中で650°C×60秒程度のRTA処理を行うことが好ましい。Ti層及びTiN層の成膜条件は、実施例1の[工程-120]と同様とすることができる。

【0045】[工程-320] その後、開口部31内を含む絶縁層30の上にタングステンから成る高融点金属材料層32BをCVD法(プランケットタングステンCVD法)にて堆積させる(図3の(A)参照)。CVD条件を以下に例示する。

使用ガス：WF<sub>6</sub>/H<sub>2</sub>/Ar=80/500/2800 sccm

圧力：1.1×10<sup>1</sup>Pa

成膜温度：450°C

【0046】[工程-330] 次いで、タングステンから成る高融点金属材料層32B及びバリアメタル層32Aをエッチバックし、絶縁層30上の高融点金属材料層32B及びバリアメタル層32Aを除去し、開口部31内にタングステンから成るメタルプラグ34及びバリア

13

メタル層32Aを残す。こうして、接続孔が形成される(図3の(B)参照)。通常、メタルプラグ34の頂面には、エッチバックによって凹部34Aが形成される。エッチバックの条件を以下に例示する。

使用ガス :  $\text{SF}_6/\text{Ar} = 110/90 \text{ sccm}$

圧力 : 35 Pa

RFパワー : 275 kW

【0047】[工程-340]その後、不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を基体上に物理的气相成長法にて成膜する(図4の(A)参照)。具体的には、先ず、 $\text{Al}-0.5\%\text{Cu}$ の成膜前に、厚さ20nmの $\text{T}_1$ から成る濡れ性改善層を全面に成膜することが望ましい。尚、この濡れ性改善層の図示は省略した。引き続き、不純物(Cu)を含む金属配線材料(A1)から成る金属配線材料層(A1-0.5%Cu)33を、基体に相当する絶縁層30上及びメタルプラグ34の頂面上(実際には、濡れ性改善層の上)に、スパッタ法にて堆積させて、金属配線材料層33を成膜する。金属配線材料層33の成膜条件は、実施例1の【工程-130】と同様とすることができる。尚、この段階においては、メタルプラグ34の上方の金属配線材料には凹部が形成されている。

【0048】[工程-350]アルミニウム系合金から成る金属配線材料層33を成膜した後、金属配線材料層33の表面の酸化を避けながら、若しくは表面に生成した酸化膜をスパッタエッチング等によって除去した後、金属配線材料層33をリフロー処理して、メタルプラグ34の上方の金属配線材料層33の凹部を平坦化し、配線の信頼性を向上させる(図4の(B)参照)。リフロー処理の条件は、実施例1の【工程-140】と同様とすればよい。

【0049】[工程-360]リフロー処理の完了後、実施例1の【工程-150】と同様の方法・条件で、金属配線材料層33を急冷する。

【0050】[工程-370]その後、実施例1の【工程-160】と同様の方法で配線35を形成する(図5参照)。

【0051】(実施例4)実施例4は、本発明の第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法に関する。即ち、実施例4の配線形成方法は、基本的には高温スパッタ法から構成されている。金属配線材料はアルミニウムから成り、不純物は銅(Cu)から成る。具体的には、不純物を含む金属配線材料として、 $\text{Al}-0.5\%\text{Cu}$ を用いた。また、基体は絶縁層から成る。実施例1と同様に、絶縁層には接続孔が設けられ、絶縁層は半導体基板に形成されたソース・ドレイン領域と電気的に接続している。尚、基体が絶縁層のみから構成される場合であってもよいことは勿論であるし、接続孔がその底部において下層配線層と電気的に接続される態様も含み得る。以下、実施例4の半導体装置の配線構造の形成方法を、再

(8)

特開平8-186175

14

び図1及び図2を参照して説明する。

【0052】[工程-400]先ず、実施例1の【工程-100】と同様の方法で、シリコン半導体基板10に、素子分離領域11、ゲート酸化膜12、ゲート電極13、ゲートサイドウォール14、ソース・ドレイン領域15を形成する。

【0053】[工程-410]次に、実施例1の【工程-110】と同様に、ソース・ドレイン領域15が形成された半導体基板10上に、基体に相当する絶縁層20を形成する。絶縁層20は、例えば $\text{SiO}_2$ から成り、CVD法にて形成することができる。その後、ソース・ドレイン領域15の上方の絶縁層20に、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて開口部21を設ける(図1の(A)参照)。

【0054】[工程-420]その後、不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層を物理的气相成長法にて基体上に成膜しつつ、金属配線材料層を流動状態とする。具体的には、半導体基板10を熱処理温度に保持し、不純物(Cu)を含む金属配線材料(A1)から成る金属配線材料層(A1-0.5%Cu)から構成される23を、基体に相当する絶縁層20の上にスパッタ法にて成膜しつつ、流動状態とする。

【0055】そのために、開口部21の底部をエッチクリーニングした後、実施例1の【工程-120】と同様に下地層22として $\text{T}_1$ 層及び $\text{T}_1\text{N}$ 層を、開口部21内を含む絶縁層20の上に順次スパッタ法で成膜する。続いて、 $\text{T}_1$ から成る濡れ性改善層(図示せず)を $\text{T}_1\text{N}$ 層上に成膜し、その後、 $\text{Al}-0.5\%\text{Cu}$ から成る不純物を含む金属配線材料を絶縁層20の上に高温スパッタ法にて堆積させて、金属配線材料層23を成膜する。金属配線材料層23の成膜条件を以下に例示する。絶縁層20を高温の状態に保持しておくことで、絶縁層20上に堆積しつつある金属配線材料層23は流動状態となり、開口部21内に不純物を含む金属配線材料が流れ込む(図2の(A)参照)。尚、熱処理温度(金属配線材料層を流動状態とするための基体の温度)は、不純物が金属配線材料に完全に固溶する温度以上、不純物と金属配線材料との共晶温度未満とすればよい。

金属配線材料層23の成膜条件

ターゲット :  $\text{Al}-0.5\%\text{Cu}$

プロセスガス :  $\text{Ar} = 100 \text{ sccm}$

圧力 : 0.4 Pa

DCパワー : 10 kW

熱処理温度 : 500 °C

膜厚 : 0.5  $\mu\text{m}$

【0056】[工程-430]アルミニウム系合金から成る金属配線材料層23の形成完了後、金属配線材料層23を急冷する。金属配線材料層23の急冷時間は、金属配線材料層23中の不純物が殆ど析出しない時間とする。具体的には、実施例1の【工程-150】と同様と

15

することができる。

【0057】〔工程-440〕その後、必要に応じて、金属配線材料層23の表面に反射防止膜（図示せず）を成膜する。次いで、フォトリソグラフィ技術及びエッチング技術を用いて、実施例1の〔工程-160〕と同様に、絶縁層20上の金属配線材料層23、濡れ性改善層及び下地層22をパターニングして配線25を形成する。こうして、図2の（B）に示したと同様の配線構造を完成させる。

【0058】（実施例5）実施例5は本発明の成膜装置10に関する。高圧リフロー法を含むリフロー法においては、金属配線材料を大気に曝すことなく、同一成膜装置内で金属配線材料の成膜及びリフロー処理を行った方が、金属配線材料の表面に酸化膜が形成されないので、開口部内への金属配線材料の流れ込みが良好となる。図6に模式的な平面図を示す本発明の成膜装置は、スパッタチャンバ40、41、リフロー兼急冷チャンバ42、並びに、スパッタチャンバ40、41及びリフロー兼急冷チャンバ42を結ぶ減圧搬送路43を備えている。本発明の成膜装置においては、減圧搬送路43が備えられているので、金属配線材料を大気に曝すことなく金属配線材料の成膜及びリフロー処理を行うことができ、開口部内への金属配線材料の流れ込みが良好となる。

【0059】尚、図6において、参照番号44、45はローディングチャンバであり、46は前処理チャンバである。例えば、スパッタチャンバ40においてTi層やTiN層を成膜し、スパッタチャンバ41においてアルミニウム系合金から成る金属配線材料層を成膜する。これらのスパッタチャンバ40、41は公知の構造を有する。

【0060】リフロー兼急冷チャンバ42の構造を、概念的な断面図として図7に示す。図7に示したリフロー兼急冷チャンバ42には、輻射熱を用いたヒータ（例えば、ランプヒータ50）及びガス冷却試料ステージ51が備えられている。ランプヒータ50はガス冷却試料ステージ51の上方に配置されている。尚、リフロー兼急冷チャンバ42のチャンバ壁の図示は省略した。ガス冷却試料ステージ51には、冷却用ガス配管52、温度モニターポート53、及びステージ冷却用配管（図示せず）が設けられている。温度モニターポート53にパイロメータ（図示せず）等を挿入することによって、例えば半導体基板の温度をモニターすることができる。

【0061】金属配線材料層のリフロー処理及び急冷を行う場合、スパッタチャンバ41にてアルミニウム系合金から成る金属配線材料層が基体上に成膜された半導体基板10を、スパッタチャンバ41から減圧搬送路43を経由して、リフロー兼急冷チャンバ42に搬入する。そして、半導体基板10をガス冷却試料ステージ51上に載置した後、リフロー兼急冷チャンバ42を例えばアルゴンガス等の不活性ガスで充填する。次に、ランプヒ

(9)

特開平8-186175

16

ータ50をオンにし、金属配線材料層をリフロー処理する。このとき、冷却用ガス配管52から冷却用ガスを流さない。一方、ステージ冷却用配管には冷却水又は適切な冷媒を流し続ける（図7の（A）参照）。

【0062】所定の加熱時間が経過しリフロー処理が完了した後、ランプヒータ50をオフにし、その後若しくは同時に冷却用ガス配管52から冷却された不活性ガス（例えばアルゴンガス）を半導体基板10の裏面に吹き付け、半導体基板10を急冷する（図7の（B）参照）。

【0063】尚、図7の（C）に示すように、適切な半導体基板移動手段（図示せず）を配設して、金属配線材料層のリフロー処理時には、ガス冷却試料ステージ51から半導体基板10を離し、半導体基板10を急冷する際には、ガス冷却試料ステージ51に半導体基板10を密着させることによって（図7の（B）参照）、より効果的に金属配線材料層のリフロー処理及び急冷を行うことができる。

【0064】リフロー兼急冷チャンバ42の別の構造を、概念的な断面図として図8に示す。図8に示したリフロー兼急冷チャンバ42には、ガス加熱試料ステージ60、ガス冷却試料ステージ63、及びガス加熱試料ステージ60からガス冷却試料ステージ63へ試料を搬送する搬送装置70が備えられている。尚、リフロー兼急冷チャンバ42のチャンバ壁の図示は省略した。

【0065】搬送装置70は、例えば、複数の半導体基板10を載置することができ、しかも回転可能な円盤状のプレートとすることができる。尚、半導体基板10を載置する搬送装置70の部分には、半導体基板10より若干小さい穴が設けられている。搬送装置70は回転軸71に取り付けられており、回転軸71を例えばモータ（図示せず）によって回転させることで、搬送装置70は、ガス加熱試料ステージ60からガス冷却試料ステージ63へ試料を搬送することができる。あるいは又、搬送装置を、半導体基板10の縁部を把持し、半導体基板10を所定の位置に配置することが可能な搬送アームとすることもできる。

【0066】ガス加熱試料ステージ60には、加熱用ガス配管61及び温度モニターポート62が設けられている。一方、ガス冷却試料ステージ63には、冷却用ガス配管64及び温度モニターポート65、及びステージ冷却用配管（図示せず）が設けられている。温度モニターポート62、65にパイロメータ（図示せず）等を挿入することによって、例えば半導体基板の温度をモニターすることができる。

【0067】金属配線材料層のリフロー処理及び急冷を行う場合、スパッタチャンバ41にてアルミニウム系合金から成る金属配線材料層が基体上に成膜された半導体基板10を、スパッタチャンバ41から減圧搬送路43を経由して、リフロー兼急冷チャンバ42に搬入する。

(10)

特開平8-186175

17

そして、搬送装置70に設置された半導体基板10をガス加熱試料ステージ60の上に配置した後、リフロー兼急冷チャンバ42を例えばアルゴンガス等の不活性ガスで充填する。次に、加熱用ガス配管61から加熱されたアルゴンガス等の不活性ガスを半導体基板10の裏面に吹き付ける。これによって、金属配線材料層のリフロー処理を行う。尚、ステージ冷却用配管には冷却水又は適切な冷媒を流し続ける。

【0068】所定の加熱時間が経過しリフロー処理が完了した後、搬送装置70を回転させて半導体基板10をガス冷却試料ステージ63の上に配置する。次いで、冷却用ガス配管64から冷却されたアルゴンガス等の不活性ガスを半導体基板10の裏面に吹き付ける。これによって、金属配線材料層を急冷する。

【0069】図7に示したリフロー兼急冷チャンバ42においては、リフロー処理をランプヒータ50で行う。ランプヒータ50による加熱は急激な温度変化を実現し易い反面、温度制御の安定性に乏しい傾向にある。一方、図8に示したリフロー兼急冷チャンバ42においては、温度制御の安定性は高いが、半導体基板をガス加熱試料ステージ60からガス冷却試料ステージ63へと移動させる必要があるために、冷却速度が低くなる。従って、リフロー処理の条件や必要とされる冷却速度を考慮して、リフロー兼急冷チャンバの形式を決定する必要がある。

【0070】以上、本発明を好ましい実施例に基づき説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。実施例にて説明した各種条件や数値は例示であり、適宜変更することができる。実施例においては、不純物としてCu及びSiを例にとり説明したが、その他、Ge、Mg又はZn、あるいは、これらの不純物を2種類以上含む金属配線材料を用いることもできる。尚、Al-Si及びAl-Geの二元系系平衡状態図を図11に示す。

【0071】実施例1及び実施例4においては、接続孔24は半導体基板10に形成されたソース・ドレイン領域15と電気的に接続されているが、本発明の半導体装置の配線形成方法は、このような例に限定されるものではない。図9の(A)に示すように、接続孔24は下層絶縁層80の上に形成された下層配線層81に電気的に接続されていてもよい。また、実施例3においては、メタルプラグ34は半導体基板10に形成されたソース・ドレイン領域15と電気的に接続されているが、本発明の半導体装置の配線形成方法は、このような例に限定されるものでもない。図9の(B)に示すように、メタルプラグ34は下層絶縁層80の上に形成された下層配線層81に電気的に接続されていてもよい。

【0072】更には、実施例3にて説明したメタルプラグ34が形成された絶縁層を基体として、本発明の第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法を適用すること

18

ができる。また、実施例3のソース・ドレイン領域の代わりに下層配線層に電気的に接続されたメタルプラグが形成された絶縁層を基体として、本発明の第2の態様に係る半導体装置の配線形成方法を適用することもできる。尚、下層配線層81は、下層絶縁層80に溝部を形成し、かかる溝部に埋め込まれた構造とすることもできる。即ち、下層絶縁層80に溝部を形成し、かかる溝部内を含む下層絶縁層上に金属配線材料層を形成した後、下層絶縁層80上の金属配線材料層をエッチバック法や化学的・機械的研磨法(CMP法)で除去することにより、溝部に埋め込まれた形態の下層配線層構造を得ることができる。

【0073】本発明の第1の態様に係る半導体装置の配線形成方法においては、リフロー処理として高圧リフロー処理を含めることができる。この場合には、図10に示すように、不純物を含む金属配線材料から成る金属配線材料層23を基体10上に物理的気相成長法にて成膜した時点において、開口部21の上方に形成された金属配線材料層23の形状が、ブリッジ形状であることが望ましい。即ち、開口部21の底部にはボイドが残り、且つ、開口部21の上方は金属配線材料層23によって塞がれていることが望ましい。金属配線材料層23をこのようなブリッジ形状にすることで、高圧不活性ガスの圧力によって、開口部21の上方及びその近傍の金属配線材料が開口部21内に押し込まれる。一方、金属配線材料層23をこのようなブリッジ形状にしない場合、即ち、金属配線材料層23が図1の(C)に示すような形状となったのでは、高圧不活性ガスの圧力によっても、開口部21内を金属配線材料で完全に充填することができず、接続孔の信頼性が乏しくなる場合がある。金属配線材料層23をこのようなブリッジ形状とするためには、成膜時の金属配線材料の流動性を高めればよい。そのために、例えば、実施例1の【工程-130】における成膜温度を300°Cと高めに設定すればよい。また、場合によっては、開口部21の径よりも絶縁層20上の金属配線材料層23の膜厚を厚くすることにより、開口部21の上方に形成された金属配線材料層23の形状をブリッジ形状とすることができる。あるいは又、下地層22の厚さを厚くすることによって、開口部の側壁に堆積した下地層の形状をオーバハンク状(逆テーパ形状)とすることで開口部の開口径を小さくすることによっても、開口部21の上方に形成された金属配線材料層23の形状をブリッジ形状とすることができる。

【0074】高圧リフロー処理の条件を以下に例示する。

基体加熱温度：400°C

加熱時間：2分

加熱雰囲気：アルゴンガス

雰囲気圧力：10<sup>5</sup>Pa以上

【0075】実施例においては、絶縁層20、30をS

(11)

特開平8-186175

19.

SiO<sub>2</sub>から構成したが、その他、BPSG、PSG、B SG、AsSG、PbSG、SbSG、SOG、SiON又はSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>等の公知の絶縁材料、あるいはこれらの絶縁層を積層したものから構成することができる。必要に応じて、絶縁層の形成後、例えば、熱処理や化学的・機械的研磨法(CMP法)、エッチバック法等により、絶縁層20、30の平坦化処理を行うことが望ましい。

【0076】実施例においては、下地層22やバリアメタル層32Aを構成するTi層やTiN層をスパッタ法で成膜したが、その代わりにCVD法を用いて成膜することもできる。Ti層及びTiN層のECR CVD法による成膜条件を以下に例示する。尚、下地層22は、その他、Ti、TiN、TiON、TiW、W等の導電性を有する高融点金属若しくはその化合物といった、配線断時の冗長効果を得、金属配線材料との相溶性がよい材料から構成することもでき、この場合には、スパッタ法やCVD法にて形成すればよい。

TiのECR CVD条件

使用ガス : TiCl<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar = 15/50/43 sccm

マイクロ波パワー : 2.0 kW

温度 : 500°C

圧力 : 0.3 Pa

TiNのECR CVD条件

使用ガス : TiCl<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> = 20/26/8 sccm

マイクロ波パワー : 2.8 kW

基板RFバイアス : -50 W

温度 : 750°C

圧力 : 0.12 Pa

【0077】

【発明の効果】本発明においては、金属配線材料層を急冷することによって、金属配線材料層中に析出した不純物の粒径が小さくなるので、金属配線材料層をパターンニングして配線を形成する際、不純物の析出物によって、配線の短絡、断線あるいは抵抗の増大といった問題が生じない。また、本発明の成膜装置においては、金属配線材料を大気に曝すことなく同一成膜装置内で金属配線材料の成膜及びリフロー処理を行うことができるので、開口部内への金属配線材料の流れ込みが良好となるし、容易に金属配線材料層のリフロー処理及び急冷を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の半導体装置の配線形成方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図2】図1に引き続き、実施例1の半導体装置の配線形成方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図3】実施例3の半導体装置の配線形成方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

20

【図4】図3に引き続き、実施例3の半導体装置の配線形成方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図5】図4に引き続き、実施例3の半導体装置の配線形成方法を説明するための半導体基板等の模式的な一部断面図である。

【図6】本発明の成膜装置の模式的な平面図である。

【図7】リフロー兼急冷チャンバ42の構造を概念的に示す図である。

【図8】図7とは別の構造を有するリフロー兼急冷チャンバ42の構造を概念的に示す図である。

【図9】本発明の半導体装置の配線形成方法における配線構造の変形を模式的に示す半導体基板等の一部断面図である。

【図10】高圧リフロー処理における、開口部の上方に形成された金属配線材料層の望ましい形状を模式的に示す断面図である。

【図11】二元素系平衡状態図である。

【図12】アルミニウム系合金を自然冷却するとき、アルミニウム中に固溶している不純物が析出する状態を模式的に示す図である。

【図13】メタルプラグ上にアルミニウム系合金から成る配線を形成する場合の問題点を説明するための模式図である。

【符号の説明】

- 10 半導体基板
- 11 素子分離領域
- 12 ゲート酸化膜
- 13 ゲート電極
- 14 ゲートサイドウォール
- 15 ソース・ドレイン領域
- 20、30 絶縁層
- 21、31 開口部
- 22 下地層
- 23A 金属配線材料
- 23、33 金属配線材料層
- 24 接続孔
- 25、35 配線
- 32A バリアメタル層
- 32B 高融点金属材料層
- 34 メタルプラグ
- 40、41 スパッタチャンバ
- 42 リフロー兼急冷チャンバ
- 43 減圧搬送路
- 44、45 ローディングチャンバ
- 46 前処理チャンバ
- 50 ランプヒータ
- 51 ガス冷却試料ステージ
- 52 冷却用ガス配管
- 53、62、65 温度モニターポート

21  
60 ガス加熱試料ステージ  
61 加熱用ガス配管  
63 ガス冷却試料ステージ

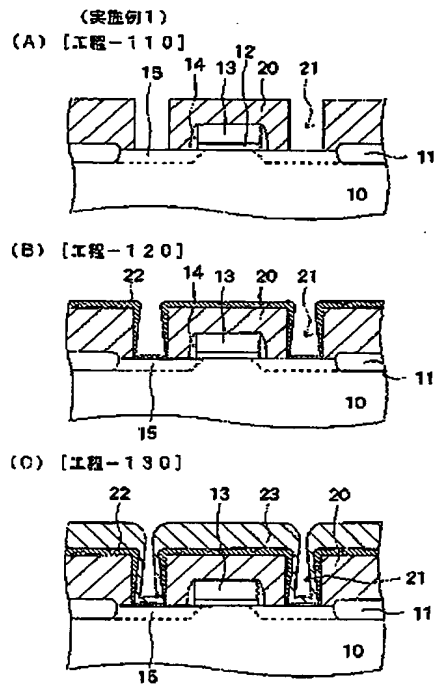
(12)

特開平8-186175

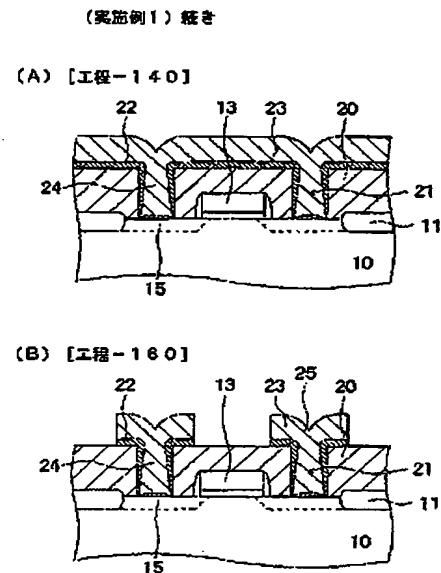
22

\* 64 冷却用ガス配管  
70 搬送装置  
\*

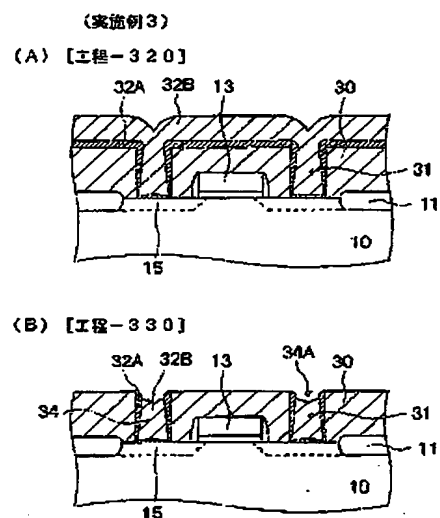
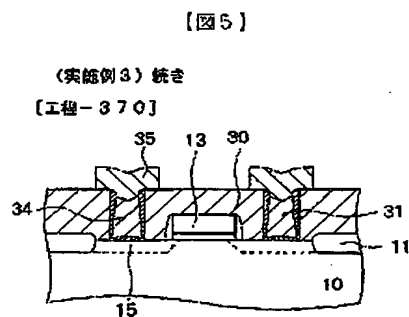
【図1】



【図2】



【図3】



(13)

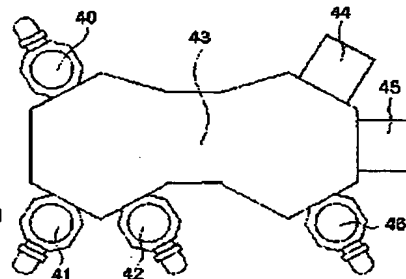
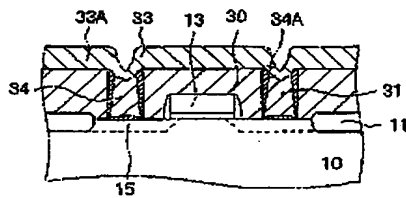
特開平8-186175

【図4】

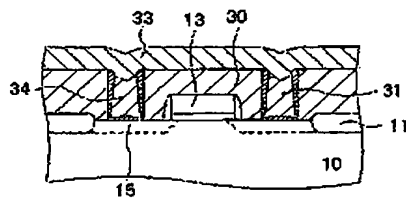
【図6】

(実施例3) 続き

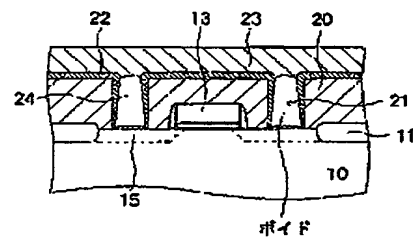
(A) 【工程-340】



(B) 【工程-350】



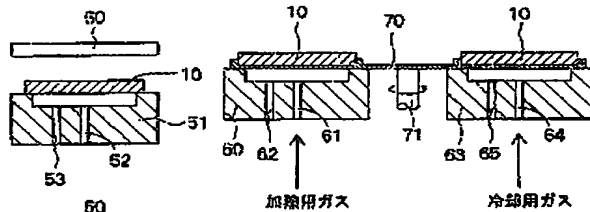
【図10】



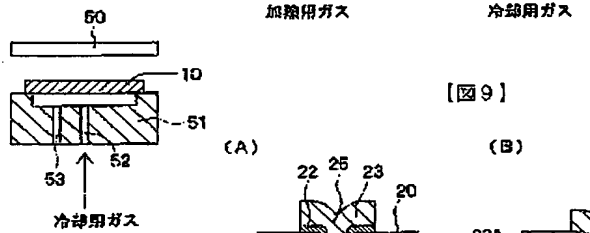
【図7】

【図8】

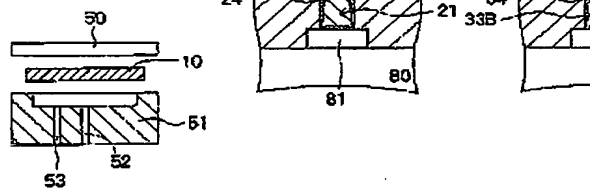
(A)



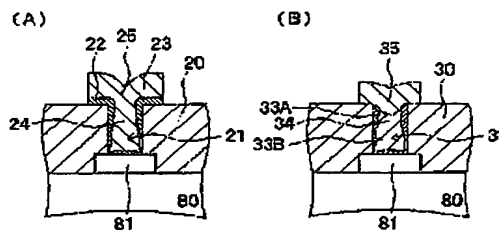
(B)



(C)



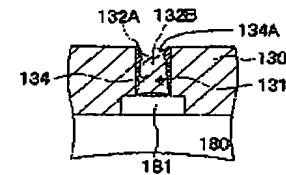
【図9】



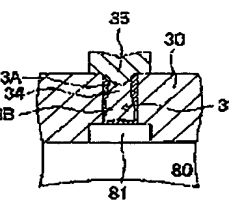
【図13】

(従来技術の問題点)

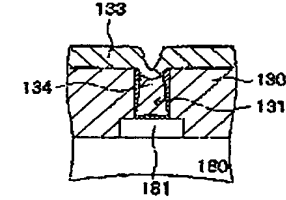
(A)



(B)



(B)

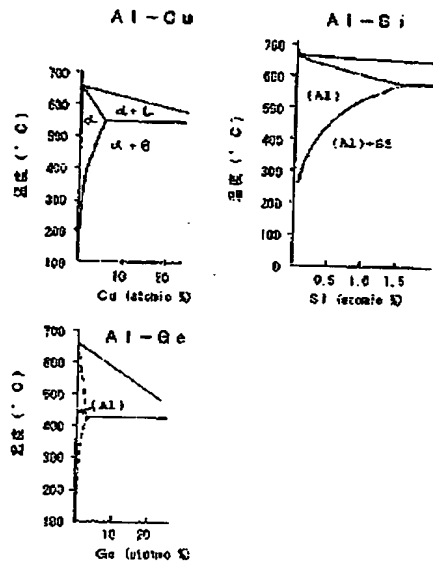


(14)

特開平8-186175

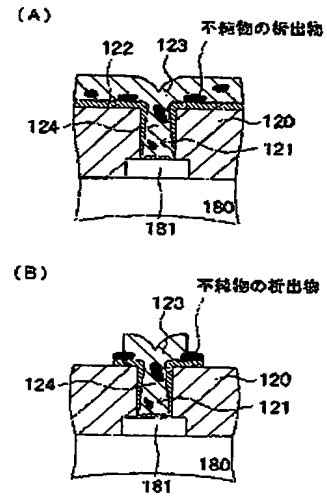
【図11】

二元系系平衡状態図



【図12】

(従来技術の問題点)



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
H01L 21/3213

識別記号 庁内整理番号 F I

技術表示箇所



特開平8-186175

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第7部門第2区分  
 【発行日】平成13年7月19日(2001. 7. 19)

【公開番号】特開平8-186175  
 【公開日】平成8年7月16日(1996. 7. 16)  
 【年号号数】公開特許公報8-1862  
 【出願番号】特願平6-339207  
 【国際特許分類第7版】

H01L 21/768  
 21/285 301

21/3213

【F1】

H01L 21/90 C  
 21/285 301 R  
 301 L  
 21/88 D

【手続補正書】

【提出日】平成12年7月17日(2000. 7. 17)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正内容】

【0005】これらの高温スパッタ法や高圧リフロー法を含むリフロー法による開口部の埋め込みにおいては、金属配線材料を再結晶温度以上(例えば、約350°C以上)、融点未満に加熱する。より具体的には、下地である絶縁層をこのような温度に加熱する。尚、このときの絶縁層の加熱温度を、以下、熱処理温度と呼ぶ。ここで、再結晶温度とは、金属配線材料が再組織化可能な温度(金属配線材料の結晶が成長し得るに十分な温度)を意味し、通常、融点の温度(単位: K)の値の3/4倍程度の温度値である。また、高温スパッタ法やリフロー法による処理完了後の金属配線材料の冷却は、通常、自然冷却であり、冷却時間は10数分程度である。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正内容】

【0007】

【発明が解決しようとする課題】金属配線材料を構成するアルミニウムには、形成された配線の信頼性向上や、熱処理温度の低下を目的として、種々の不純物(Cu、Si、Ge等)が最高数パーセント程度含まれている。尚、このような不純物を含むアルミニウムを、以下、ア

ルミニウム系合金と呼ぶ。そして、殆どの場合、熱処理温度を、これらの不純物がアルミニウム中に完全に固溶するような温度若しくはそれ以上の温度とする。即ち、熱処理温度以上において、アルミニウムを溶媒原子、不純物を構成する成分を溶質原子とする一次固溶体が形成される。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正内容】

【0008】例えば、アルミニウム系合金がAl-O、5%Cuから成る場合、図11にAl-Cuの二元系系平衡状態図を示すように、熱処理温度が約300°C以上では、全てのCuはAl中に完全に固溶する。然るに、室温でのAlに対するCuの固溶度は0.1%程度しかない。アルミニウム系合金を冷却したとき、析出(偏析)したCuがCu<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>を形成する。そして、アルミニウム中に固溶していた不純物は、アルミニウム系合金を自然冷却したとき、図12の(A)に模式的な一部断面図に示すように、0.1μmの数倍といった比較的大きな析出物としてアルミニウムの粒界に析出(偏析)する。それ故、絶縁層上に形成されたアルミニウム系合金から成る金属配線材料層をエッチング法にてパターンニングして配線を形成する場合に、問題が発生する。即ち、不純物が導電性を有する場合(例えばCu等の場合)、析出物によって配線の短絡が生じる虞がある(図12の(B)参照)。また、不純物が導電性を有していない場合(例えばSi等の場合)、析出物によって配線の抵抗値が増加したり断線するという問題がある。尚、

- 補 1 -

特開平8-186175

図12中、参照番号120は絶縁層、参照番号121は絶縁層120に設けられた開口部、参照番号122はTiN/Tiから成る下地層、参照番号123はアルミニウム系合金から成る金属配線材料層、参照番号180は下層絶縁層、参照番号181は下層絶縁層180上に形成された下層配線層である。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0059

【補正方法】変更

【補正内容】

【0059】尚、図6において、参照番号44、45はローディングチャンバであり、参照番号46は前処理チャンバである。例えば、スパッタチャンバ40においてTi層やTiN層を成膜し、スパッタチャンバ41においてアルミニウム系合金から成る金属配線材料層を成膜する。これらのスパッタチャンバ40、41は公知の構造を有する。